Aus dem Physiologischen Institut der Universität München
Direktor: Professor Dr. Broemser

Einfluß der Schwerkraft (Beschleunigung) auf den Kreislauf.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

einer

hohen Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Heinz Kohnen

Zahnarzt aus Linnich.

1938

Buchdruckerei Richard Mayr, Würzburg.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Referent: Dozent Dr. Wetzler
Tag der mündlichen Prüfung: 24. II. 1938

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554005_0009

Einleitung.

Die Entwicklung der modernen Verkehrstechnik hat dazu geführt, daß der menschliche Organismus heute Lebensbedingungen ausgesetzt ist, die weit vom bisher als normal Angesehenen abweichen.

Schon um die Wende des vorigen Jahrhunderts verlangten die Fortschritte im Bau von Bergbahnen und die zunehmende Steigfähigkeit der Freiballone nach einer medizinischen Klärung der Lebensbedingungen in großen Höhen.

Jetzt zwingt die Entwicklung des Flugwesens durch die außerordentliche Steigerung der Geschwindigkeit, Wendigkeit und Stabilität, die Wissenschaft, sich mit der physiologischen Auswirkung der Kräfte zu befassen, die auf den Flieger bei Änderung der Flugrichtung nach den Gesetzen der Massenträgheit einwirken.

Beim Katapultstart oder durch Raketenantrieb werden heute Beschleunigungen erzielt, die das Dreifache der Erdbeschleunigung übertreffen. Weit größer jedoch sind die Radialbeschleunigungen, welche bei plötzlicher Richtungsänderung auftreten. Diese Tatsache verhindert die volle Ausnutzung der Wendigkeit starkmotoriger Sport- und Rennflugzeuge beim Kurvenfliegen, da hier unter der Wirkung starker Zentrifugalbeschleunigungen, die Besatzung Störungen, wie „Schwarzwerden vor den Augen" erleidet und eine sichere Führung der Maschine gefährdet ist. Von den Militär- und Kriegsfliegern wird wiederholt auf den störenden Einfluß des „Schwarzwerdens vor den Augen" beim Kurvenkampf hingewiesen. Zeigt beispielsweise eine Statistik Strughold's[1]), daß in den Jahren 1914/15 des Weltkrieges von den Fliegern 2% Opfer des feindlichen Beschusses wurden, 8% infolge Versagens des Flugzeuges zu Tode kamen und 90% der Verluste durch körperliches oder seelisches Versagen des Flugzeugführers bedingt waren.

Diese überraschende und zugleich erschreckende Feststellung mußte unbedingt Anlaß geben, eingehende Untersuchungen auf diesem Gebiete vorzunehmen, um genauestens die Einwirkung der hohen Beschleunigungen auf den menschlichen Blutkreislauf kennen zu lernen und damit die Möglichkeit zu besitzen, wirksame Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

Der Kreislauf ist, als ein mit Flüssigkeit gefülltes elastisches Röhrensystem, indem sich die Flüssigkeit nach den physikalischen Gesetzen bewegen kann, bei weitem am empfindlichsten gegen Veränderungen jeglicher Art.

Auf die Forschungsergebnisse in dieser Richtung soll weiter unten eingegangen werden.

Um die später zu besprechenden pathologischen Veränderungen verstehen zu können, erscheint es notwendig, zunächst einmal den menschlichen Kreislauf unter normalen Verhältnissen, also beim Liegen und Stehen zu betrachten.

Während des Stehens ist die Pulsfrequenz sowie der Blutdruck starken Schwankungen unterworfen. Im Liegen dagegen zeigen Blutdruck und Pulsfrequenz eine bemerkenswerte Konstanz, soweit selbstverständlich psychische und motorische Einwirkungen, die hier nicht zu untersuchen sind, ausgeschaltet bleiben.

Unterschiedlich verhält sich der Blutdruck. Der systologische Blutdruck sinkt bei den meisten Menschen im Stehen, der diastologische Blutdruck steigt dagegen. Beim Übergang von liegender zu aufrechter Haltung kommt es zu einer Pulsbeschleunigung, verbunden mit einer Verkleinerung der Blutdruckamplitude und Steigen des diastolischen Druckes. Der systologische Druck verhält sich verschieden. Bei Männern sinkt er gewöhnlich, bei der Mehrzahl der Frauen steigt er um 2—10 mm Hg (Mateeff)[2]). Mateeff glaubt die Ursache hier größtenteils in einer Gefäßverengung, die reflektorisch einsetzt und weniger in der Einwirkung der Schwerkraft suchen zu müssen.

Über den Einfluß der Schwerkraft auf den Kreislauf beim Stehen gibt es eine Reihe von Untersuchungen. Fr. Moritz[3]) teilte im Jahre 1904 als erster mit, daß die Maße des Herzschattens im Orthodiagramm beim Stehen sowohl frontal wie sagittal kleiner sind als im Liegen.

H. Diethen[4]) bestätigte und ergänzte im Jahre 1909 diese Feststellung Moritz dahingehend, daß bei auskultatorisch einwandfreien Herzen von Menschen, die nie über Herzbeschwerden geklagt haben, die Verkleinerung des Herzschattens im Durchschnitt 20,1% betrug. Diethen hat diese Verkleinerung mit der Pulsbeschleunigung und den Veränderungen des Blutdruckes beim Übergang vom Liegen zum Stehen in Zusammenhang gebracht. Schon damals stellte er fest, daß eine erhebliche Herzverkleinerung beim aufrechten Stehen mit einer starken Pulsbeschleunigung einhergeht, andererseits eine geringe oder gar keine Herzverkleinerung mit schwacher oder fehlender Pulsbeschleunigung gefunden wird. Diethen folgert daraus, daß beim aufrechten Stehen die Herzverkleinerung durch eine Verminderung des Schlagvolumens bedingt ist.

Rund ⅔ des Blutgefäßsystems liegt unterhalb des Herzens. Der hämostatische Druck führt zu einer Überfüllung der tieferliegenden Körperteile und damit zu einer mangelnden Blutversorgung des Herzens und seiner darüber liegenden Teile. Er erhärtet diese Ansicht

dadurch, daß er bei Umwicklung der Beine eine geringere Verkleinerung des Herzens wie auch eine geringere Pulsbeschleunigung gefunden haben will.

Zu dem gleichen Ergebnis kommt auch Lindhard[5]), der mit der Stickoxydmethode eine Verminderung des Schlagvolumens des Herzens beim Stehen um 20,8% findet.

Im Jahre 1923 haben Atzler und Herbst[6]) die Veränderungen bestimmt, die am Fußvolumen unter dem Einfluß des hämostatischen Druckes beim aufrechten Stehen eintreten. Im Anfang nimmt das Fußvolumen rasch, nachher langsam zu und erreicht nach ca. 2 Stunden seine maximale Größe.

1926 hat Simonson[7]) eine Restitutionsverminderung beim Stehen gefunden, die proportional der Dauer ist.

Mosso[8]) versuchte die Menge des beim Lagewechsel verlagerten Blutes festzustellen. Die Borellische Waage zur Bestimmung des Gleichgewichtszentrums hat er zu diesem Zweck besonders hergerichtet. Er fand, daß die Menge Wasser, die am Fußende der Waage ergänzt werden muß, um das Gleichgewicht der horizontal gelegenen Person wieder herzustellen, im Durchschnitt mindestens 100 ccm beträgt.

In jüngerer Zeit hat Ude[9]) die Untersuchungsergebniss Mosso's bestätigt mit dem Ergebnis, daß man, um bei einer horizontal liegenden Person das Gleichgewicht wieder herzustellen, 300—600 ccm Wasser am Fußende zufügen muß. Im Vergleich zu Mosso, ist die hier zu ergänzende Wassermenge bedeutend höher. Im Ganzen ergaben die Untersuchungen, daß schon ein relativ kurzes Stehen am Fleck, dem eine im Liegen verbrachte Ruheperiode vorausging, zu einer nachweisbaren Flüssigkeitsverschiebung führte.

Wie hat man sich nun das Zustandekommen der geschilderten Beobachtungen, die ja eindeutig den Nachweis des Einflusses der Schwerkraft auf den Kreislauf bringen, zu denken?

Es ist sicher, daß während des Stehens sich ein Teil des Blutes in den Beinen sammelt und hernach bei horizontaler Lage wieder kopfwärts fließt. Wo das beim Stehen in die Beine abgesackte Blut verbleibt, d. h. ob mehr den Gefäßen der Haut oder der Muskulatur eine Funktion als Depotorgan zukommt, scheint heute noch nicht ganz geklärt. Die amerikanischen Autoren Thompson[10]) und Dailey[11]) stellten beim längeren Stehen eine extravasale Flüssigkeitsansammlung in den Beinen fest. Nach ihnen kommt es also zu einer Art physiologischem Ödem. Sie begründeten ihre Ansicht dadurch, daß sie im Stehen eine Vermehrung der Erythrocyten, eine stärkere Konzentration des Plasmaeiweißes und des spezifischen Gewichtes des Plasmas fanden, während der Wassergehalt und die Menge des Plasmas abnahmen. Es kommt also zu einer

Bluteindickung im Stehen. Diese Abnahme der zirkulierenden Plasmamenge (200—500 ccm nach Thompson) würde auch ihrer Größe nach gut mit dem von H. Ude geschilderten Befund in Einklang zu bringen sein.

Der Einfluß der Schwerkraft auf den Blutkreislauf beim aufrecht stehenden Menschen dürfte, wie schon erwähnt, damit wohl erwiesen sein. Die Einwirkung der Anziehungskraft der Erde macht sich sowohl am arteriellen als auch besonders am venösen Teil des Kreislaufes bemerkbar. Beim Stehen kommt zu dem hämostatischen Druck nun noch der Zirkulationsdruck hinzu, der ebenfalls in den unter dem Herzen gelegenen Verzweigungen des arteriellen Systems eine Mehrbelastung der Gefäßwandungen bedingt. Daraus ergibt sich als Folge, wie es häufig bei älteren Leuten, die durch den Beruf gezwungen sind, viel zu stehen, zu beobachten ist, daß es zu einer Schwächung und damit Ausweitung der Gefäßwandungen kommt, zur Varizenbildung. In den vom Herzen aufwärts führenden Verzweigungen des Gefäßsystems aber wirkt der Zirkulationsdruck dem hämostatischen Druck entgegen. Die Gefäßwandungen werden entlastet und die Gefäßlumina verengt. Die Folge davon ist, daß der Blutstrom sich zu Gunsten der unteren Körperhälfte umstellt (Hess)[12]). Diese Umstellung des Blutstromes zu Gunsten der tieferliegenden Körperteile würde jedoch, wie Mateeff angibt, noch keine Kreislaufstörung bedeuten, wenn der venöse Teil des Kreislaufsystems imstande wäre, restlos den Rückstrom zum Herzen zu garantieren. Aus seinen Untersuchungen geht hervor, daß auch bei vollkommen gesunden Menschen in aufrechter Haltung der venöse Rückstrom nicht immer ungehindert vor sich geht. Es scheidet eine bedeutende Menge Blut aus dem allgemeinen Kreislauf aus, was eine Verminderung des Schlagvolumens des Herzens (20—40% nach Lindhard) im Gefolge hat.

Beim gesunden Menschen erreicht jedoch die Erschwerung des venösen Rückstroms niemals solche Ausmaße, daß sie zu Kreislaufstörungen, zum Gravitationsschock führen, wie sie bei Tieren wiederholt beobachtet worden sind. Die Kompensation für die aufrechte Haltung, die beim Menschen in hohem Grade ausgebildet ist, verhindert dies und es kommt nur dann zu Zirkulationsstörungen mit Anämie des Gehirns und dadurch Schädigung des Koordinationsvermögens, wenn irgend welche andere Störungen des Zirkulationsmechanismus vorhanden sind.

Zwischen den Menschen und den Vierfüßlern besteht insofern ein durchgreifender Unterschied, als erstere mindestens zwei als normal zu bezeichnende Körperhaltungen haben, die stehende und die liegende, während für das Tier jede nicht horizontale Körperhaltung abnorm ist. So erklärt es sich, daß die Tiere bei Vertikalstellung sehr beträchtliche Kreislaufveränderungen zeigen, die man

geradezu als Kreislaufstörungen bezeichnen kann, während beim Menschen der Wechsel zwischen Liegen und Stehen nur unbedeutende Veränderungen mit sich bringt. Wenn auch aus diesem Grunde die später angeführten Kaninchenversuche von Jongbloed und A. K. Noyons[13]) sich nicht direkt auf den Menschen übertragen lassen, so geben sie uns doch ein klares Bild von den Kreislaufveränderungen bei Einwirkung von Beschleunigungen.

Ist, wie wir gesehen haben, die Einwirkung der Schwerkraft auf den Kreislauf im Liegen und Stehen beim gesunden Menschen von verhältnismäßig geringer Bedeutung, so zeigen sich doch bei zunehmender Beschleunigung Erscheinungen im Kreislaufsystem, denen man größte Beachtung schenken muß. Besonders durch den Wiederaufbau der deutschen Luftwaffe ist diese Frage für uns von großem Interesse.

Wenn auch das Ausland sich schon früher damit beschäftigt hat, so liegen doch keine abschließenden Ergebnisse vor, oder sie werden, worauf H. v. Diringhofen[14]) hinweist, vielleicht der Öffentlichkeit vorenthalten.

Eine Untersuchungsreihe, die in jüngster Zeit von den beiden Holländern J. Jongbloed und K. Noyons begonnen worden ist, verdient hier besondere Erwähnung.

Bei Kaninchen versuchten sie den Einfluß von Beschleunigungen auf den Kreislaufapparat zu erkennen und zuverlässige Werte dieser Beschleunigungen anzugeben. Zu diesem Zweck wurde das Versuchstier in Rückenlage auf einer waagrechten Drehscheibe mit einem Radius von 1 Meter angebracht, sodaß der ganze Körper von den Hinterfüßen bis zum Kopf praktisch in einer Linie lag. Durch Befestigung des Tieres auf einem viereckigen Bodenbrett, daß in vier Stellungen auf die Scheibe geschraubt werden konnte, wurde es möglich, das Versuchstier — ohne die Anordnung in Teilen zu ändern — in verschiedener Weise einer Drehung zu unterwerfen: mit dem Körper in radiärer Richtung, mit dem Körper nach einwärts und nach auswärts gerichtet oder mit dem Körper in tangentialer Richtung, mit dem Kopf nach vorn oder nach hinten.

Wurde das Tier mit dem Körper in radialer Richtung gedreht, dann wirkte außer der Schwerkraft in Richtung Bauch-Rücken eine Zentrifugalkraft in Richtung der großen Gefäße darauf ein. Da bei diesen Versuchen die Wirkung der Beschleunigung dieser Zentrifugalkraft ermittelt werden sollte, ließ man die Schwerkraft, die senkrecht zur Richtung der großen Gefäße wirkte, außer Betracht. Bei den Versuchen war die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe nach 8 Umdrehungen, d. h. nach 16 sec. konstant. Die Zeitdauer der verschiedenen Umdrehungen war folgende:

1.	Umdrehung	6,5 sec.
2.	„	2,3 „
3.	„	1,7 „
4.	„	1,3 „
5.	„	1,2 „
6.	„	1,1 „
7.	„	1,05 „
8.	„	1,0 „

Es trat also bei den ersten Umdrehungen eine Beschleunigung tangentialer Richtung auf, die — da sie relativ klein war (im Mittel kleiner als 0,3m/sec.^{2}) und senkrecht zur Richtung der großen Gefäße wirkte, sodaß ihr direkter Einfluß auf den Kreislauf praktisch gleich Null ist — vernachlässigt wurde.

Während der Drehung wurden gemessen:

1. Blutdruckveränderungen
2. Herzfrequenz und Herzfüllung
3. Gefäßdurchströmung.

Die Ergebnisse der verschiedenen Blutdruckversuche zeigt deutlich folgende Tabelle (von Jongbloed und Noyons entnommen):

A. Kopf nach innen.

Beschleunigung	erreicht nach	Blutdruck in Art. carotis	Bludtruck in Art. femoralis.
0 g		100	
0,5 g	3 Umdrehungen	102,5	
Stillstand		100	
0 g		100	
1 g	3 „	86—80	
Stillstand		100	
0 g		100	
1,8 g	5 „	56	
Stillstand		100	
0 g		100	100
2,6 g	8 „	25—0	200
Stillstand		etwa 160	100

B. Kopf nach außen.

0 g		100
2,5 g	8 Umdrehungen	200
Stillstand		100

Wie zu erwarten, sinkt der Blutdruck in der Art. carotis bei einer vom Kopf nach den Hinterfüßen gerichteten Beschleunigung und steigt in der Art. femoralis. Aus der Tabelle ersieht man, daß bei Einwirkung von Beschleunigungen in der Richtung der Körperachse große Veränderungen im Blutdruck auftreten, die durch direkte Wirkung auf die Blutverteilung entstehen. Auch das Herz zeigt Veränderungen. Bei der Einwirkung zentrifugaler Beschleunigung von etwa 2,5 g wurde die Herzfunktion beim Kaninchen ernst gestört. Beim Drehen mit nach innen gelagertem Kopf trat während des Drehens eine beschleunigt, nach dem Drehen eine stark vergrößerte Herzaktion ein. Beim Drehen mit nach außen gelagertem Kopf war die Herzwirkung von Beginn der Drehwirkung an vergrößert, während Wiederherstellung erst nach der Drehung und zwar langsam eintrat.

Beim Vergleich dieser Resultate mit den bei den Blutdruckexperimenten gefundenen ergibt sich, daß die Herzfrequenz erhöht ist, so lange ein niedriger Blutdruck in der Art. carotis besteht, daß sie dagegen stark abnimmt, wenn dieser Blutdruck hoch wird. Den Füllungsgrad des Herzens während und direkt nach den Drehungen, der ja notwendigerweise Schwankungen unterworfen ist, bestimmten Jongbloed und Noyons röntgenologisch. Es ergab sich, daß während der Drehung die Herzfigur stark verkleinert ist, zumal bei Drehung mit nach innen gelagertem Kopf, während unmittelbar nach der Drehung in fast allen Fällen die Herzfigur größer war als normalerweise.

Wir dürfen daraus schließen, daß während der Drehung die Füllung des Herzens schlecht ist, besonders bei nach innen gerichtetem Kopf, dieselbe jedoch nach der Drehung in beiden Fällen besser ist als normal. Daß hier weiterhin noch andere Momente wie Atmung, Herzfrequenz, Quantität und Druck des Blutes, namentlich im Splanchnicusgebiet, eine wichtige Rolle spielen, ist selbstverständlich.

Zur Untersuchung der Gefäßdurchströmung, also um die Blutmenge zu ermitteln, die einem bestimmten Teil des Körpers während oder unmittelbar nach der Einwirkung der Beschleunigung im Vergleich zu der normalen Menge zufließt, wurde die Durchströmung der Art. carotis communis gemessen. Auch hier ergibt der folgende Auszug aus einer Tabelle der beiden Holländer ein klares Bild.

A. Zentrifugalbeschleunigung. Kopf nach innen.
(Durchströmung vor den Umdrehungen = 100%)

Nummer des Versuchstieres	Veränderung der Durchströmung während der Drehung in %	Veränderung der Durchstömung etwa 1 Minute nach der Drehung in %
	Beschleunigung ½ g	
1	— 30	0
2	0	0
3	— 1	+ 22
	— 13	
	Beschleunigung 1 g	
1	— 79	— 6
2	— 23	0
3	— 34	+ 15
4	— 49	— 22
4	— 49	
4	— 49	
5	— 49	+ 14
	— 47	
	Beschleunigung 1,8 g	
1	— 96	— 81
2	— 53	+ 20
4	mehr als — 90	— 45
4	" " — 90	
5	— 70	0
	— 80	
	Beschleunigung 2,5 g	
1	mehr als — 90	— 63
1	" " — 90	+ 14
	— 90	

B. Zentrifugalbeschleunigung; Kopf nach außen.

	Beschleunigung ½ g	
1	+ 42	0
	Beschleunigung 1 g	
2	+ 11	— 2
2	+ 20	— 7
4	+ 69	+ 35
6	— 40	— 29
	Beschleunigung 2,5 g	
1	+ 14	— 8
4	— 47	— 7 bis — 32

Aus den Daten der Tab. A ergibt sich, daß die Durchströmung der Art. carotis communis normal ist, solange eine geringe Beschleunigung in Richtung Kopf-Hinterkörper wirkt und daß diese Verminderung umso größer wird, je mehr die Beschleunigung zunimmt. Nach der Einwirkung der Beschleunigung, besonders bei größeren Werten, kehrt die Carotisdurchströmung bei einigen Tieren nicht ganz in die Norm zurück, sondern bleibt vermindert; bei anderen dagegen besteht eine Überkompensation. Die individuellen Unterschiede sind hier stärker ausgeprägt.

Bei der Tabelle B wechseln die Resultate bezüglich der einzelnen Versuchstiere viel mehr, sodaß sich hier nicht sichere Schlüsse ziehen lassen.

Die gleichzeitige Messung der Art. femoralis bei Wirkung der Beschleunigung vom Kopf zum Hinterkörper zeigte, daß bei einer verminderten Carotisdurchströmung von 48% diejenige der Art. femoralis um 37% gestiegen ist.

Betrachtet man nun zusammenfassend die Ergebnisse dieser Untersuchungen, so ergibt sich zunächst die große Bedeutung konstanter Beschleunigung auf den Blutdruck. Er steigt in den Gefäßen, in denen das Blut durch die Schwerkraftwirkung abgedrängt wird und sinkt in den entgegengesetzten Gebieten. Daß bei geringerer Beschleunigung praktisch keine Druckveränderungen zu verzeichnen sind, dürfte auf die Auslösung des Sinus caroticusreflexes zurückzuführen sein, der über die Medulla oblongata den Blutdruck reguliert, indem eine Reizung der Vasokonstriktoren eintritt, wodurch besonders im stark gefüllten Splanchincusgebiet der Blutdruck noch mehr gesteigert wird und dessen Wirkung doch immerhin ausreicht, geringen Beschleunigungen gegenüber ausgleichend wirken zu können. Bei stärkerer Einwirkung von Beschleunigungen genügt jedoch dieser kompensatorische Ausgleich nicht mehr. Der Carotisdruck, besonders bei Beschleunigung in Richtung Kopf-Körper, wird zu gering, die Herzfüllung schlecht, wodurch ungeachtet der erhöhten Herzfrequenz das Minutenvolumen viel kleiner ist als normal. Die Abfuhr aus dem caudalen Gebiet ist gehemmt und ein großer Teil des Blutes häuft sich unter dem hohen Druck im Spanchnicusgebiet an. Mit vermindertem Carotisdruck und schlechter Durchströmung ist zweifellos eine verminderte oder gar aufgehobene Durchblutung der Gehirnarterien die Folge, sodaß Gehirnanämie entsteht, die noch einige Zeit nach der Beschleunigungseinwirkung andauert, da der Übergang von starker Vasokonstriktion nach Vasodilatation langsam zustande kommt.

Bei Beschleunigungen in Richtung Körper—Kopf steigt nun der Carotisdruck und der Caudaldruck sinkt. Bei hohem Carotisdruck tritt reflektorisch eine starke Verminderung der Herzfrequenz und Reizung der Vasodilatatoren ein. Das Minutenvolumen sinkt, und

das aus dem Herzen kommende Blut strömt größtenteils cranialwärts. Es kommt zu einer überstarken Durchblutung der Gehirngefäße, bei länger dauerndem Zustand zu deren Schädigung mit Gehirnblutungen.

Diese Untersuchungsergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen, einmal, weil für das Kaninchen eine Beanspruchung durch die Schwerkraft in Richtung Kopf—Körper oder umgekehrt eine ungewohnte und unphysiologische ist, da es sich nicht wie der Mensch in aufrechter Haltung bewegt, dann, weil der Versuchsmethode notwendigerweise insofern Fehler anhaften, als nicht jeder Teil des tierischen Körpers gleichweit von der Drehachse entfernt ist. Sie ergeben aber doch ein klares Bild von den Veränderungen, die das Kreislaufsystem durch Beschleunigungen verschiedener Art und Stärke beeinflussen.

Welche Verhältnisse entstehen nun für den Menschen, wenn er hohen Beschleunigungen, wie beim Fliegen ausgesetzt ist?

Die Behandlung dieser Fragen soll nach folgenden Gesichtspunkten geschehen:

1. Welche Beschleunigungen kennen wir, und wann treten sie auf?
2. Welcher Art sind die Erscheinungen, die beim Fliegen mit hoher Geschwindigkeit unter der Einwirkung der verschiedenen Beschleunigungsarten auftreten und welches sind ihre physiologischen Ursachen?
3. Wie kann man diesen Störungen wirksam begegnen?

Wenden wir uns der ersten Frage zu:

Die gradlinige Beschleunigung.

Sie tritt beim plötzlichen Anfahren eines Fahrzeuges, beim Katapultstart der Wasserflugzeuge als positive Beschleunigung oder beim starken Abbremsen z. B. beim Hinfallen auf den harten Boden (kurzer Bremsweg), Zusammenstoß von Fahrzeugen, Flugzeugabsturz usw. als negative Beschleunigung auf. Für die Stärke der physiologischen Wirkung ist die Geschwindigkeit und der Bremsweg maßgebend. Die Formel zur Berechnung der dabei wirkenden Beschleunigung b aus Anfangsgeschwindigkeit va, Endgeschwindigkeit ve und dem Bremsweg s lautet (n. v. Diringhofen)[14]:

$$b = \frac{(v_a - v_e)\,2 \cdot g}{19{,}6 \cdot s} = \frac{(v_a - v_e)^2 \cdot g}{20 \cdot s}$$

b = Beschleunigung in m/sec.²
g = 9,81 m/sec.² = Erdbeschleunigung

s = Bremsweg in Metern
va = Anfangsgeschwindigkeit m/sec.
ve = Endgeschwindigkeit m/sec.

Als Beispiel gibt von Diringhofen an, daß ein frei fallender Mensch in normaler Luftdichte annähernd 210 km/St. erreicht. Es wird angenommen, daß durch einen Fallschirm auf einen Bremsweg s = 30 m eine gleichmäßige Bremsung von va = 60 m/sec. auf ve = 5 m/sec. erfolgt. (In Wirklichkeit ist jedoch die Bremsung nicht gleichmäßig, sondern anfangs stärker). Setzt man dies in die angenommene Formel ein, so ergibt das eine negative Beschleunigung von

$$b = \frac{(60 - 5)^2}{20 \cdot 30} \cdot g = 5\,g$$

Der Fallschirmabspringer hängt also während der Bremsung mit dem Fünffachen seines Körpergewichtes in den Gurten.

Bei einer Bruchlandung mit dem Bremsweg s = 1 m, wird der Pilot mit dem 20fachen seines Gewichtes zu Boden gepreßt.

Abgesehen von Stürzen, Bruchlandungen und vom Katapultstart, sind die gradlinigen Beschleunigungen, die sich beim Abflug oder bei der Landung zeigen, im allgemeinen gering. Selten überschreitet ihre Größe 1 g (Jongbloed). Denkt man sich z. B. daß ein Flugzeug nach einem Abflug von 20 sec. eine Geschwindigkeit von 600 km/St. erreicht (was eine enorme Leistung wäre) und daß die Beschleunigung während dieses Abfluges gleichmäßig ist (was jedoch nicht ganz zutrifft), dann würde während dieses Startes die durchschnittliche Beschleunigung 8,3 m/sec.^{2}), also noch weniger als 1 g betragen.

Die Wirkung dieser Beschleunigung auf den menschlichen Organismus ist also von derselben Art wie diejenige der Schwerkraft beim waagrechten Liegen. In ersterem Falle bleibt natürlich die Wirkung der Schwerkraft in Richtung der Körperachse bestehen.

In der gleichen Richtung wirkend, aber viel größer gestalten sich die Beschleunigungen beim Katapultstart. Hier kann die Größe 3—5 g betragen, die Dauer ist dann aber kurz, etwa 1 sec.

Diese gradlinigen Beschleunigungen in sagittaler Richtung wirken direkt auf den Kreislauf verhältnismäßig wenig ein. Von viel größerer Bedeutung sind die Beschleunigungen, die bei Flugrichtungsänderungen auftreten, die

Zentrifugal-(Radial)-Beschleunigungen.

Sie errechnen sich aus dem Kurvenradius r und der Drehzahl n oder der Wirkungsgeschwindigkeit $\omega = 2\pi n$ nach der Formel (v. Diringhofen):

$$b = 4{,}028\ n^2 r \cdot g = 4\ n^2 r \cdot g$$

und aus der Fluggeschwindigkeit v und dem Kurvenradius r nach der Formel:

$$b = \frac{v^2}{r\,\pi^2} \cdot 1{,}007 \cdot g = \frac{v^2}{10r} \cdot g$$

v. Diringhofen gibt als Beispiel:

Bei einer Fluggeschwindigkeit von 300 km/St., also rund 80 m/sec., würde bei einem Kurvenradius von 150 m eine Zentrifugalbeschleunigung $b = \frac{10{,}150}{80^2} \cdot g = 4{,}3\ g$ auftreten. Die Zentrifugalbeschleunigung hat für den Piloten die größte Bedeutung und mit ihr muß er sich am meisten auseinandersetzen.

Als dritte und letzte Art wären die Coriolisbeschleunigungen zu nennen.

Sie treten auf, wenn in einem rotierenden Bezugssystem ein Körper bezw. Massenpunkt sich vom Drehmittelpunkt entfernt oder sich ihm nähert. Sie wirken senkrecht zur Beschleunigungsrichtung.

Die Coriolisbeschleunigungen werden berechnet nach der Formel (v. Diringhofen):

$$b\ cor. = \frac{4\,\pi n r}{9.81} \cdot g$$

Diese Arten von Beschleunigungen treten hauptsächlich beim Trudeln auf.

Der Vollständigkeit halber sollen noch nach diesen physikalischen Betrachtungen die wichtigsten Flugfiguren und Flugarten angegeben werden.

1. Flugrichtungsänderung durch Kurven.
2. Der „Überschlag" (Looping) ist eine Kurve um eine horizontale Achse.
3. Das „Abfangen" aus dem Gleit- oder Sturzflug ist eine rasche Richtungsänderung bezw. Kurve um eine horizontale Achse.
4. Die „Rolle" ist eine Drehung des Flugzeuges um seine Längsachse unter Beibehaltung der Richtung.
5. Beim „Trudeln" stürzt das Flugzeug in spiraliger Drehung um eine senkrechte, außerhalb des Flugzeuges gelegene Achse ab.
6. Die „Spirale" ist eine mit Höhenverlust geflogene Kurve mit engem Radius. Es lassen sich hier hohe Beschleunigungswerte erreichen, da zur Motorkraft die potentielle Energie der Lage hinzukommt. v. Diringhofen gelang es damit, über 1 Minute lang dauernde Beschleunigungen von mehr als den vierfachen der Schwerkraft zu erzielen.

7. Das seitliche „Gleiten" bedeutet ein seitliches Herausrutschen des Flugzeuges aus seiner Flugbahn, gewollt oder ungewollt.

Diese angegebenen Figuren können auch in Rückenlage ausgeführt werden, ohne daß die Beschleunigungsverhältnisse sich verändern.

Welcher Art sind nun die Erscheinungen, die beim Fliegen mit hoher Geschwindigkeit und der Einwirkung der verschiedenen Beschleunigungsarten auftreten und welches sind ihre physiologischen Ursachen?

Trotz zahlreicher Berichte der Fliegerei des In- und Auslandes über Störungen durch Beschleunigungseinwirkungen, von denen die Schilderungen des nordamerikanischen Kunstfliegers Leutnant A. Williams[15]) und die Abhandlung von Wimperis[16]) über das Schneiderpokalrennen wichtig erscheinen, fehlten bis vor kurzem in der medizinischen Literatur fast völlig theoretische Betrachtungen und vor allem praktische Untersuchungen über die physiologische Wirkung von Gradlinien-Zentrifugalen- und Coriolosbeschleunigungen. Die bisherigen Studien derartig hoher Beschleunigungskräfte auf den Menschen waren fast ausschließlich subjektiver Natur Dabei stand im Vordergrund der Betrachtungen eine Sehstörung in Form von „Schwarzwerden vor den Augen" des Piloten bei Einwirkung einer mehrere Sekunden lang dauernden Beschleunigung von mehr als 4 g. Bei sehr kurz wirkenden Beschleunigungen wurden angeblich bis 7,8 g keinerlei Störungen bemerkt. In einem Falle von kurzer Beschleunigung von 10,5 g wurden Erscheinungen einer Gehirnerschütterung festgestellt (USA NAGA Bericht Nr. 307 S. 16).

Das Auftreten von Sehstörungen hat G. Schubert[17]) persönlich im Flugzeug nachgeprüft. Die bei der Coriolisbeschleunigung auftretenden Erscheinungen, die in Verbindung mit einer allgemeinen Kreislauferschwerung zur Blutleere im Gehirn und besonders in der Retina führen soll, erklärt er mit einer vom Labyrinth ausgehenden reflektorischen Blutdrucksenkung.

Der französische Flugarzt M. Flamme[18]) ist einer der wenigen, die experimentell einen Einblick in die Physiologie der Beschleunigungseinwirkungen zu bekommen suchen. Er beschränkt sich jedoch im wesentlichen auf theoretische Betrachtungen mit Hilfe von Modellversuchen.

Die Gebrüder von Diringhofen und Bolonoschkin[19]) sind es, die zum ersten Male auf Grund ihrer Versuchsflüge genaue Angaben über die Größe der Beschleunigungen, die bei den verschiedenen Flugarten entstehen, machen und zugleich die Erscheinungen schildern, die bei den Versuchspersonen auftreten.

Auf ihre Ergebnisse soll näher eingegangen werden.

Bei der Versuchsperson 1 betrug der max. Blutdruck vor dem Start 136 mm Hg. Während der ersten Spirale mit 2,4 g bei einer Dauer von 57 sec. stieg er auf 200 mm Hg, während der zweiten Spirale mit 3,3 g/80 sec. betrug er 180 mm Hg und senkte sich dann bis auf 134 mm Hg bei der Landung.

Bei einem weiteren Versuchsflug der Versuchsperson 1 stieg der Blutdruck bei der ersten Steilspirale mit 2,7 g/55 sec. (max. 3,0 g) geflogen, auf 225 mm Hg und steigerte sich nach der zweiten Steilspirale mit 3,5 g/44 sec. (max. 4,4 g) auf 235 mm Hg. Diese Werte ergaben sich bei der Versuchsperson 1 in sitzender Stellung. Wichtig ist die Tatsache, daß bei der gleichen Versuchsperson im Liegen, während einer Steilperiode mit ca. 3 g (die Zeitangabe fehlt hier) der Blutdruck nur bis auf 192 mm Hg stieg bei einem Blutdruckwert von 158 mm Hg vor dem Start.

Ähnliche Werte ergaben sich auch bei den Flügen mit der Versuchsperson 2, nur war hier die Blutdruckerhöhung unter den gleichen Bedingungen etwas geringer, was wohl auf die Verschiedenheit des menschlichen Organismus, sich mit solchen Beschleunigungen abzufinden und entsprechend darauf zu reagieren, zurückzuführen sein dürfte.

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß negative Beschleunigungen von 4 g über 1 Min. ohne jede Störung vertragen werden können, wenn der Mensch in der Lage ist, durch entsprechende Blutdrucksteigerung einen Ausgleich zu schaffen. Bei der Einwirkung von Beschleunigungen auf den Menschen muß zur Errechnung des Blutdrucks in den Gehirnarterien der hämostatische Druckunterschied — mit der Größe S ausgedrückt — zwischen Herz- und Scheitelhöhe mit dem Vielfachen von g multipliziert werden. v. Diringhofen gibt als Beispiel an, daß unter der Einwirkung einer Scheitelhöhe S bei 4 g in die Schädelkapsel nur dann Blut eintritt, wenn der in Herzhöhe bestimmte Blutdruck genügt, um das Blut nicht nur bis zur Art. basilaris, sondern bis in Scheitelhöhe zu heben. Das ist unter diesen Umständen der Unterschied von $4 \times 10 = 40$ mm Hg. Es muß also bei einer Beschleunigung von 4 g, soll eine Sehstörung vermieden werden, der Blutdruck um 40 mm Hg steigen. Da manche Piloten Fliehkraftwerte von 5 g 10 Sekunden lang aushalten können, muß aber eine starke allgemeine Blutdrucksteigerung der vermehrten Schwerkraft entgegenwirken.

Wir können ungefähr schätzen, wie hoch der zur Überwindung des Beschleunigungswiderstandes erforderliche Druck in den Hirngefäßen mindestens sein muß und daraus die Blutdrucksteigerung errechnen, die zum Durchhalten hoher Beschleunigungswerte notwendig ist.

Bei Hypotonikern mit systolischen Blutdruckwerten von nur 90 mm Hg genügt das plötzliche Aufsitzen im Bett, ein Druckverlust der Gehirnarterien um etwa 40 mm Hg also, um eine Anämie im Gehirn und in der Netzhaut des Auges und damit verbunden ein „Schwarzwerden vor den Augen" hervorzurufen. 90 — 40 = 50 mm Hg sind also soeben ungenügend (Müller)[20].

v. Diringhofen gibt an, daß der Druck in den Gehirnarterien mindestens 70 mm Hg betragen muß, damit Sehstörungen vermieden werden. Er fand diesen Druck noch bei länger anhaltenden Beschleunigungen von mehr als 4 g, da durchschnittlich eine Blutdrucksteigerung bis auf 200 mm Hg zu verzeichnen war.

Die anämischen Störungen würden somit erst bei 5 g und darüber erreicht werden, also dann, wenn der menschliche Organismus nicht mehr fähig ist, durch kompensatorische Blutdrucksteigerung eine reflektorische Vasokonstriktion in den großen Gefäßgebieten ständig den praktischen Erfahrungen und Ergebnissen der Versuchsflieger v. Diringhofen und Bolonoschkin.

Welches sind nun die Faktoren, die diese reflektorische Blutdrucksteigerung bedingen?

In den Gefäßwänden der Aorta und des Sinus caroticus befinden sich bekanntlich, worauf auch schon früher bei den Versuchen der beiden Holländer hingewiesen wurde, nervöse Elemente, deren Erregungszustand durch den Füllungsgrad bestimmt wird. Sie regulieren die periphere Gefäßweite, die Weite der Blutreservoirgebiete (Abdomen, Leber usw.), die Herzfrequenz und die Adrenalinausschüttung. Bei Druckentlastung im Sinus caroticusgebiet, also bei einer Beschleunigung in Richtung Kopf — untere Extremitäten, tritt eine reflektorische Vasekonstriktion in den großen Gefäßgebieten ein. Das Blutangebot zum Herzen nimmt zu, die Herzfrequenz und das Minutenvolumen steigen, damit auch der Blutdruck. Eine bestimmte Druckhöhe im Sinus caroticus entspricht also einem bestimmten Blutdruck. Das Steigen und Fallen dieser Druckhöhe ist mit einer gegensinnigen Beeinflussung des Blutdruckes verknüpft.

Inwieweit dies der Fall ist, geht aus den Versuchen v. Diringhofen hervor. Bei einem Beschleunigungswert von 4 g, der über längere Zeit gehalten wurde, stieg die Pulszahl

in 5 sec auf 110
in 20 sec auf 116
in 30 sec auf 120 Schläge an.

Der systolische Blutdruck stieg

in 5 sec auf 150 mm Hg
in 20 sec auf 180 mm Hg
in 30 sec auf 183 mm Hg

und dann nicht viel höher.

Dies sind Werte, die die Wirkung der Blutdruckregulation veranschaulichen und das Ertragen von Beschleunigungen von 4—5 g ermöglichen.

Daß natürlich die Höhe vom Erdboden, in der die Beschleunigung ertragen werden soll, auch von Bedeutung ist, ist klar, da in großer Höhe (5000 m und mehr) die Kreislaufregulierung langsamer vonstatten geht als in geringen Höhen (bis 2000 m).

Im Rückenflug wirkt beim Kurven die Zentrifugalkraft in Richtung untere Extremitäten — Kopf. Auf dem Gehirn lastet dabei einmal die Blutsäule des ganzen Körpers, zu der die Größe der Beschleunigungseinwirkung und der Arbeitsdruck des Herzens hinzuzurechnen ist. Die Carotisreflexe versuchen nun durch Erweiterung der Gefäße besonders im Abdomen und den Blutreservoirs eine Blutdrucksteigerung im Kopf zu verhindern. Die Wirkung bleibt jedoch aus, da das Blut ja dann, entgegen den physikalischen Gesetzen, in die erweiterten Gefäßgebiete abfließen müßte.

Unter dem Einfluß der einfachen Schwerkraft wird die Haltung des Kopfes nach unten längere Zeit ohne Beschwerden vertragen. Für diesen Fall reicht die Kreislaufregulation aus.

Es zeigen jedoch die Untersuchungen v. Diringhofen's, daß bei einer negativen Beschleunigung von 4 g in den Gehirnarterien eine hydrostatisch bedingte Blutdrucksteigerung auf mindestens 270 mm Hg erfolgen muß, um den Blutdruck in Herzhöhe konstant zu halten. Da auf der Aortenklappe die Blutsäule des ganzen Körpers lastet, wird in Wirklichkeit der allgemeine Blutdruck beim Rückenflug kaum gleichbleiben.

„Würde der Druck in Herzhöhe konstant bleiben", sagt v. Diringhofen, „z. B. auf 150 mm Hg, so müßte sich das Blut im Körper so verteilen, daß die Beine bis zur Mitte der Oberschenkel blutleer würden. Behalten jedoch die Blutgefäße im Körper ihren bisherigen Querschnitt, auch bei Beschleunigungen, so kann das Blut nicht ausreichen und es entsteht hydrostatisch eine Blutdrucksteigerung in Herzhöhe."

Die Blutdruckregulation muß also hier viel früher versagen als in umgekehrter Richtung. Die auftretenden Störungen wie „Rotwerden vor den Augen" und lange Zeit anhaltende Kopfschmerzen, bedingt durch erhebliche Blutdruck- und Liquordrucksteigerungen, sind in der Fliegerei wesentlich unangenehmer und gefährlicher als Beschleunigung in normaler Lage.

v. Diringhofen gibt hierzu folgendes an:

„Durch die hydrostatische Liquordrucksteigerung (bei 3 g = 180 mm Hg) werden die Gefäßwände im Gehirn wesentlich entlastet. Wenn trotz dieser Entlastung die Arteriolen, Kapillaren und kleinen Venen des Gehirns sich unter dem hohen Innendruck oder

reflektorisch erweitern, so wird zunächst der in der Schädelkapsel befindliche Liquor ausweichen, dann der Hirndruck steigen, bis er schließlich den Innendruck der abführenden Venen überschreitet, wodurch diese zusammengepreßt werden. Es entsteht eine Störung bezw. der Zustand einer hyperämischen Hyperämie."

Ein ähnlicher Vorgang kann auch im Auge auftreten. Die Sehstörungen bei Beschleunigung im Rückenfluge lassen sich mit einer derartigen Durchblutungsstörung in der Netzhaut des Auges erklären.

Als obere Grenze von Beschleunigungen im Rückenflug werden heute 2—3 g angegeben. Beim Überschreiten dieser Werte besteht die Gefahr, von Retina und Hirnblutungen.

Der deutsche Kunstflugmeister Fieseler[21]) gibt an, daß er seine Rückenflugfiguren mit möglichst geringer Beschleunigung zu fliegen versucht, um die unangenehmen Störungen zu vermeiden oder wenigstens abzuschwächen.

Williams klagt, daß er bei einem Überschlag nach vorne (Rückenflug-Looping) mit einer negativen Beschleunigung von 3 g einen außerordentlich starken Blutandrang nach dem Kopf verspürt und daß ihm das Sehvermögen schwindet. Es wird ihm „rot vor den Augen". Im Gegensatz zum „Schwarzwerden vor den Augen", bei Beschleunigungen in normaler Lage, das mit Aufhören derselben sofort verschwindet, überdauern die Sehstörungen im Rückenflug die Beschleunigung wesentlich (nach Williams 7—9 sec. Nachwirkung).

Ist der Pilot auf Grund der Untersuchungen und der theoretischen Überlegungen in der Lage, in normaler Haltung Beschleunigungen von 4—5 g und in Kopflage Beschleunigungen von 2—3 g zu ertragen, so drängt sich die Frage auf, wie es möglich ist, Beschleunigungen über 5 g auszuhalten.

Müller sieht den Grund darin, daß sich der Kreislauf erst nach längerer Zeit auf die veränderten Schwerkraftbedingungen einstellt. Nach seinen Angaben benötigt der Blutdruck bei ca. 5 g etwa 25 sec., bis er seinen Maximalwert erreicht. So ist es also möglich, daß bezw. Beschleunigungswerte von 9,3 g, wie sie beim Abfangen aus dem Sturzflug beobachtet worden sind, ohne Störungen ertragen werden, weil dieser hohe Wert nur während einer halben Sekunde erreicht wird und er schon im Verlauf der nächsten halben Sekunde auf 4 g zurückgeht. Die Schwerkraft kann sich in dieser kurzen Zeit noch nicht auf den Kreislauf auswirken und zeitigt nicht die zu erwartenden Folgen.

Trotzdem dürfte auch hier bei 10 g eine obere Grenze gesetzt sein, auch dann, wenn die Beschleunigung durch die Kürze der Zeit nicht die Möglichkeit hat, den Kreislaufeffekt hervorzurufen. Soll doch bei einer Beschleunigung von 10,5 g (Williams USA) eine Gehirnerschütterung beobachtet worden sein.

Hier tritt die Gefahr einer mechanischen Schädigung durch die Kompression der Organe in den Vordergrund. Solch hohe Beschleunigungen haben aber auch praktisch, wenigstens vorläufig noch, keine Bedeutung, da auch hier der Festigkeit des Materials eine Grenze gesetzt ist, die zu überschreiten keinen Zweck mehr hat, soll nicht auf Kosten der Stabilität die Geschwindigkeit herabgesetzt werden.

Damit wären wir bei der letzten Frage angelangt:

Wie kann man diesen Störungen wirksam begegnen?

Solche Überlegungen sind von Wichtigkeit für die Auswahl der Militär- und Sportflieger, die ja in erster Linie hohen Beschleunigungen unterworfen sind. W. Borst[22]) schreibt, daß für die Beurteilung der körperlichen Tauglichkeit besonders im Hinblick auf die Beschaffenheit des Kreislaufsystems geeignete Belastungsproben (Preßdruckproben und Aufrichtreaktionen) von Bedeutung sind. Von 238 Personen, die er daraufhin untersuchte, zeigten 51 = 22,3% „Störungserscheinungen" darunter bei 29 Fällen Extrasystolen, bei 10 Fällen Überleitungsstörungen, bei 13 Fällen Veränderungen des Reizursprunges und bei 5 beginnende oder ausgesprochene Vorhofpfropfung.

Als praktische Auswirkung für die Fliegertauglichkeitsprüfung ergibt sich, daß von vorneherein Prüflinge, bei denen durch geringe pressorische Anstrengungen Störungen im Kreislaufsystem eintreten, von der Fliegerei, vor allem von der Hochleistungsfliegerei, ferngehalten werden müssen.

Dies ist eine Voraussetzung, die unter allen Umständen Beachtung finden muß, wenn die im Folgenden angegebenen Schutzmaßnahmen überhaupt von wirksamer Bedeutung sein sollen.

Es ist einleuchtend, daß kleine Personen hohe Beschleunigungen wesentlich besser vertragen können als große. Die hydrostatischen Druckunterschiede bei ersteren sind geringer, die Blutdruckwerte dagegen gleich groß.

Aus den Untersuchungsergebnissen v. Diringhofen geht hervor, daß ein brüskes Einsetzen einer hohen, länger dauernden Beschleunigung sich am ungünstigsten auswirkt, weil dann der arterielle Blutdruck im Gehirn hydrostatisch unter die „horizontalen hyphämischen Störungen" sinkt (v. Diringhofen), bevor die allgemeine Blutdrucksteigerung einen Ausgleich schaffen kann.

Maßnahmen, die schon vor dem Einsetzen solch hoher Beschleunigungen den Blutdruck erhöhen, können hier praktische Bedeutung haben. v. Diringhofen hat bei zahlreichen Versuchspersonen durch vermehrten Willenseinsatz und der damit einhergehenden Erhöhung des Muskeltonus (Bauchpresse) eine willkürliche

Blutdrucksteigerung von mehr als 60 mm Hg in 10—20 sec. festgestellt. Er weist darauf hin, daß auf diesem Wege eine vorbeugende Blutdrucksteigerung zu erreichen ist, die es ermöglicht, bei plötzlich eintretender hoher Beschleunigung den langsamer wirkenden Ausgleich des Kreislaufs vorteilhaft zu unterstützen und empfiehlt den Piloten, durch systematisches Training die Fähigkeit, den Blutdruck willkürlich zu erhöhen, auszubilden.

Das Anspannen der Bauchpresse, das die Blutdrucksteigerung in der Hauptsache bedingt, hat als weiteren Vorteil, daß gleichzeitig die doch immerhin bis zu einem gewissen Grade beweglichen Inneren Organe im Abdomen fixiert werden und deren Schädigung weitgehendst vermieden wird.

Wurde bemerkt, daß kleine Personen unempfindlicher gegen hohe Beschleunigungen sind, so liegt es nahe anzunehmen, daß durch Veränderung der Lage, mit zunehmender Horizontallagerung also, die Störungen geringer werden müssen, da die Richtung der Schwerkrafteinwirkung nicht mehr mit dem Verlauf der großen Blutgefäße zusammenfällt. Hier kam v. Diringhoten zu dem überraschenden Ergebnis, daß schon ein Kippen des Oberkörpers, ein einfaches Zusammenkauern in sitzender Stellung, verbunden mit einer geringen Anspannung der Bauchmuskulatur, die hämostatischen Blutdruckunterschiede verringert und das Auftreten anämischer Störungen herausschiebt, sodaß eine Steigerung von 2 g erzielt werden kann.

Im Liegen, besonders in Rückenlage, ist die Kreislaufbelastung natürlich am geringsten. Beschleunigungen von 8 g sind hier ohne wesentliche Blutverschiebung ertragen worden. Die Kräfte greifen hier senkrecht zu den großen Gefäßen, in gleicher Weise wie beim Katapultstart, an. Die Gefäßwände haben also nur den vermehrten Druck der vor ihnen liegenden Blutmenge auszuhalten und nicht, wie im andern Falle, die um die Größe der Schwerkraft vermehrte Blutsäule. Wenn dennoch über Schmerzen im Kehlkopf und in den Augen berichtet wird. so darf man dies wohl auf eine geringere Fixierung der Organe in Richtung Brust — Rücken zurückführen.

Eine Flugzeugsteuerung in Rückenlage bietet aber große technische Schwierigkeiten durch Einschränkung des Blickfeldes und der notwendigen freien Beweglichkeit, sodaß man — soviel ich weiß — bis jetzt darauf verzichtet hat, die sich dadurch in Bezug auf den Kreislauf bietenden Vorteile gegenüber den Nachteilen in Kauf zu nehmen.

Durch entsprechende Sorgfalt bei der Auswahl der Piloten, durch Willenseinsatz und Körperhaltung ist heute die Möglichkeit gegeben, Beschleunigungen bis zu 6 g ohne Störungen über längere Zeit auszuhalten, womit auch praktisch die obere Grenze der im Flugwesen vorkommenden Beschleunigungen erreicht ist.

Zusammenfassung.

In vorliegender Arbeit sollte an Hand der Forschungsergebnisse berichtet werden, inwieweit die Schwerkraft sich auf den Blutkreislauf unter den verschiedenen Bedingungen geltend macht und ob die sich aus ihr ergebenden Verhältnisse als normal oder als pathologisch zu bezeichnen sind.

Der erste Teil der Arbeit ergab, daß zwar beim Liegen und Stehen Veränderungen am Kreislauf festzustellen sind, die jedoch, so lange nicht andere krankhafte, den Zirkulationsmechanismus störende Komponenten hinzukommen, im Rahmen des Normalen bleiben.

Eine Nutzanwendung läßt sich vielleicht für die Berufsberatung daraus ziehen. Auf Grund der Bestimmung des Blutdruckes und der Pulsfre.uenz, ja selbst durch die Pulsfrequenz allein, ist die Möglichkeit gegeben, Leute auszusuchen oder nachzupuüfen, ob sie für eine Arbeit oder einen Beruf, der langes Stehen erfordert, geeignet sind oder nicht.

Diejenige Gruppe von Menschen, die bei längerem aufrechtem Stehen zu allmählicher, jedoch progressiv zunehmender Pulsbeschleunigung, verbunden mit Absinken des Blutdruckes und Verkleinerung der Blutdruckamplitude neigen, sind für solche Berufe ungeeignet. Sie ermüden infolge der stets fortschreitenden ungenügenden Blutzufuhr zum Gehirn rasch und neigen zu dem Phänomen des Gravitationsschockes. Bei vollständig gesunden Menschen tritt zwar auch nach dem Aufrichten Pulsbeschleunigung, Sinken des Blutdruckes und Verkleinerung der Blutdruckamplitude ein. Die betreffenden Werte halten sich jedoch beim längeren Stehenbleiben auf einer konstanten Höhe.

Die im zweiten Teil besprochenen Kreislauferscheinungen bei Einwirkung von Gradlinien-, Radial- und Coriolisbeschleunigungen führten beim Menschen und beim Tier zu dem Resultat, daß der Blutkreislauf weitgehenden Veränderungen unterworfen ist, mit denen sich besonders der Pilot, als Führer des heute schnellsten Verkehrsmittels, auseinanderzusetzen hat. Es ergibt sich die Notwendigkeit einer Zusammenarbeit von Flieger, Techniker und Arzt, um auf Grund der medizinischen Kenntnisse nach Möglichkeiten zu suchen, den Menschen ohne Gefahr hohen Beschleunigungen aussetzen zu können.

In der Gründung luftfahrtmedizinischer Institute hat man diesen Forderungen Rechnung getragen und man kann ohne Übertreibung sagen, daß die bisher erzielten Ergebnisse sehr zufriedenstellend waren.

Literatur.

1. Strughold: Zur Frage der Höhenkrämpfe, Luftfahrmed. Abh. Bd. I 1936/37, Heft 3, S. 156.
2. Mateeff: Gravitationsschock beim Menschen nach Muskelarbeit. Z. f. exp. Med. 85.
3. Moritz: Dtsch. Arch. klin. Med. 82.
4. Diethen: Dtsch. Arch. klin. Med. 97.
5. Lindhard: Skandinav. Arch. Physiol. 30. zit. nach Mateeff.
6. Atzler u. Herbst: Körper u. Arbeit. Z. f. exp. Med. 38 (1923).
7. Simonson: Zur Physiologie des Stehens. Pflügers Arch. Bd. 214.
8. Mosso: Zit. nach Abderhalden, Handb. der biolog. Arbeitsmethoden Abt. 5 Teil 4, H. 5, L. 149, S. 124.
9. Ude: Die Auswurfgröße des Herzens im Liegen und Stehen. Klin. Wschr. 1931/I S. 520.
10. — Blutverschiebungen bei Änderung der Körperlage. Klin. Wschr. 1934/II, S. 949.
10. Thompson: Zit. nach Ude.
11. Dailey: Zit. nach Ude.
12. Heß: Zit. nach Mateeff.
13. Jongbloed u. Noyons: Der Einfluß von Beschleunigungen auf den Kreislaufapparat. Pflügers Arch. f. Phys. Bd. 233, S. 67.
14. H. v. Diringhofen: Die Wirkung von Gradlinienbeschleunigungen und zentrifugalen Kräften auf den Menschen Z. f. Biol. Bd. 95 I, S. 5 und Bd. 95 I S. 934.
    — Über die Wirkung hoher Beschleunigungen und Fliehkräfte auf den Menschen. Luftfahrtmed. Abh. Bd. I, 1936/37, H. 1/2, S. 72.
15. Williams: Rückenflug- und Kunstflugfiguren in der Rückenlage. Die Luftwacht, Heft 3, 4, 6, Juni 1929.
16. Wimperis: High-Speed-Flying. The journal of the Royal Aeronautical Society 35, zit. nach v. Diringhofen.
17. Schubert: Acta oto — laryngologica 16, 39—47.
18. Flamme: Zit. nach v. Diringhofen.
19. H. v. Diringhofen und Bolonoschkin: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß hoher Beschleunigungen auf den Blutdruck des Menschen. Z. f. Biol. Bd. 93, S. 79.
20. Müller: Die Beanspruchung des Kreislaufes bei hohen Beschleunigungen im Flugzeug. Med. Klinik 1936, Nr. 50, S. 1703.
21. Fieseler: Zitiert nach v. Diringhofen.
22. W. Borst: Wert und Bedeutung von Kreislaufbelastungsproben bei Fliegeruntersuchungen. Besprechungen Ronasberichte Bd. 72.
23. Wagner: Fortgesetzte Unterkuchungen über den Einfluß der Schwere auf den Kreislauf. Pflügers Arch. Bd. 39, S. 371.
24. Höber: Physiologie des Menschen.
25. Tigerstedt: Physiologie des Kreislaufs.

Lebenslauf.

Am 20. Januar 1913 wurde ich als Sohn des Zollsekretärs Wilhelm Kohnen zu Ligneuville geboren. Nach 6jährigem Besuch der Volksschule trat ich Ostern 1927 in die Untertertia der Görres-Schule zu Linnich ein. Nach Ablegung der Reifeprüfung an der Christian-Wirth-Schule zu Usingen begann ich im Sommersemester 1933 das Studium der Zahnheilkunde an der Universität zu München. Hier bestand ich im Herbst 1937 die zahnärztliche Staatsprüfung.

Am Schlusse meiner Arbeit möchte ich Herrn Dozent Dr. Wetzler für die freundliche Überlassung des Themas und seine wertvollen Anregungen danken.